

Н. В. НЕПРАН, зав. отделом научной библиотеки НТУ «ХПИ»

КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ С. А. НАЗАРЕНКО В ОБЛАСТИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ

Статья посвящена описанию основных работ С. А. Назаренко в области оптимизации конструкций. Краткая информация приведена об основных творческих этапах и научных достижениях Назаренко. В соответствии с институциональным репозитарием eNTUKhPIIR и ARCHIVE лаборатории информационно-поисковых систем он имеет наивысший показатель среди сотрудников инженерно-физического факультета по числу размещенных научных работ. Его научные статьи включены в международные наукометрические базы Scopus; Google Scholar и др. Назаренко имеет весомые успехи в создании новой техники и внедрении в производство наукоемких технологий в качестве научного руководителя, ответственного исполнителя наиболее сложных и ответственных разделов многих госбюджетных и хоздоговорных работ. Сергей Александрович решил целый ряд практических задач анализа чувствительности и оптимального проектирования лопаточных машин: турбин и компрессоров малоразмерных турбокомпрессоров ДВС и крупноразмерных турбокомпрессоров для нефтегазохимического машиностроения; гидротурбин; электровентиляторов для подводных лодок; тягодувных машин; паровых и газовых турбин и др. Назаренко С. А. разработал методику моделирования; мультифизического анализа чувствительности и оптимизации сложных составных систем при исследовании их жизненного цикла – от проектирования до эксплуатации и утилизации. Приведены примеры реализованных прикладных инженеринговых разработок и проектирования промышленных изделий.

Ключевые слова: многодисциплинарная оптимизация, компьютерная механика, мультифизический анализ чувствительности, метод конечных элементов, математическое моделирование.

Стаття присвячена опису основних робіт С. О. Назаренко в області оптимізації конструкцій. Відповідно до інституційного репозитарію eNTUKhPIIR і ARCHIVE лабораторії інформаційно-пошукових систем він має найвищий показник серед співробітників інженерно-фізичного факультету за кількістю розміщених наукових робіт. Його наукові статті включені в міжнародні наукометричні бази Scopus; Google Scholar та інші. Назаренко Сергій Олександрович має вагомі успіхи у створенні нової техніки і впровадження у виробництво наукомістких технологій в якості наукового керівника, відповідального виконавця найбільш складних і відповідальних розділів багатьох держбюджетних і господарсько-договірних робіт. Він вирішив цілий ряд практичних завдань аналізу чутливості та оптимального проектування лопаткових машин: турбін і компресорів малорозмірних турбокомпресорів ДВЗ і великорозмірних турбокомпресорів для нафтогазохімічного машинобудування; гідротурбін; електровентиляторів для підводних човнів; тягодмуйних машин; парових і газових турбін та інших. Назаренко С. А. розробив методику моделювання; мультифізичного аналізу чутливості та оптимізації складних виробів при дослідженні їх життєвого циклу – від проектування до експлуатації та утилізації. Надано стислий виклад його основних наукових результатів. Наведені приклади виконаних прикладних інжинірингових розробок і проектування промислових виробів.

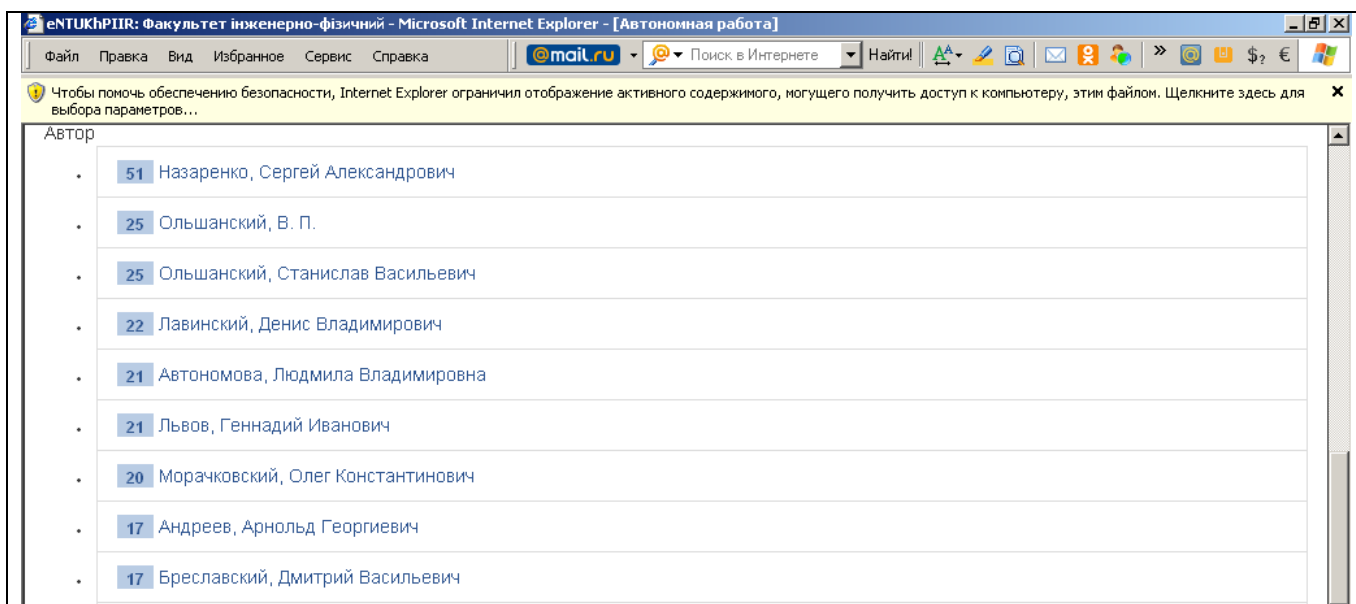
Ключові слова: мультидисциплінарна оптимізація, комп'ютерна механіка, турбіна, компресор, мультифізичний аналіз чутливості, метод кінцевих елементів, математичне моделювання.

The article describes the main works of S. A. Nazarenko in optimal design. Short information is resulted about the basic creative stages and fundamental scientific achievements of Nazarenko. In accordance with the institutional repository eNTUKhPIIR it has the highest rate among faculty members by the number of scientific papers. His research papers included in the scientometric international databases: Scopus; Google Scholar, etc... Nazarenko has a significant progress in the introduction and development of high technologies as a scientific

adviser of the most complex and important sections of many state budgetary and contractual works. He decided a number of practical problems of sensitivity analysis and optimal design: turbines and compressors of small turbo-combustion engine and turbochargers for large-scale petrochemical engineering; hydraulic turbines; electric fans for submarines; steam and gas turbines, etc. Nazarenko has developed a methodology for modeling multiphysics sensitivity analysis and optimization of complex structures in the study of their life cycle – from design to exploitation and utilization. Examples of realized applications engineering and design of industrial products are presented.

Keywords: multidisciplinary optimization, CAE, turbine, compressor, sensitivity analysis, finite element method, mathematical modeling.

Назаренко Сергей Александрович имеет наивысший показатель среди сотрудников инженерно-физического факультета по количеству размещенных научных работ в институциональном репозитории eNTUKhPIIR научной библиотеки (рис.1).



Список сотрудников инженерно-физического факультета с максимальным числом (отмечены синим квадратом) размещенных в институциональном репозитории eNTUKhPIIR научных работ на 15.08.2016.

Научные статьи Назаренко С. А. включены с h-индексом в международные наукометрические базы: Scopus (<http://www.scopus.com/>, Author ID 7006805671); Google Scholar (<http://scholar.google.com/>); базу данных Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA). В соответствии с международной наукометрической базой Web-based search systems – Google Scholar в областях «Многодисциплинарная оптимизация» и «Компьютерная механика» он занимает 1 место среди славяноязычных ученых по числу ссылок на научные публикации. Для идентификации научных работ Назаренко С. А. присвоен идентификатор ORCID (<http://orcid.org>; 0000-0001-8213-6590). Зарегистрирован в специализированной сети для ученых ResearchGate (<https://www.researchgate.net>), где обсуждает с коллегами научные вопросы. Профиль в ResearchGate — часть самопрезентации ученого.

Работы Назаренко Сергея Александровича известны специалистам не только в Украине, но и далеко за ее пределами [9, 28]. Их скачивают и изучают в США, странах Евросоюза, Китае, России, Японии и многих других (рис. 2 и 3).

Item/Handle	Number of views
Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс (Клименко, Борис Володимирович) (KhPI-Press/44)	468
Математическое моделирование для решения задач оптимизации энергосбережения (Бухало, Светлана Ивановна et al) (KhPI-Press/1874)	466
Комплексная информационная система научно-технической библиотеки Национального технического университета "Харьковский политехнический институт" (Главчева, Юлия Николаевна) (KhPI-Press/31)	394
Интеграция ресурсов как стратегическое направление развития библиотеки в контексте ее эволюции (Семененко, Лариса Петровна et al) (KhPI-Press/32)	288
Основные результаты профессора Д. С. Зернова (Назаренко, Сергей Александрович et al) (KhPI-Press/12)	268
Математические модели мультифизического анализа конструкций для информационной поддержки жизненного цикла (Назаренко, Сергей Александрович) (KhPI-Press/11)	232
Психологія впливу (Пазиніч, Станіслав Миколайович et al) (KhPI-Press/27)	208
Основні результати науково-педагогічної діяльності кафедри опору матеріалів Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" (Назаренко, Сергій Олександрович et al) (KhPI-Press/13)	208

Рисунок 2 – Среди 8 наиболее скачиваемых работ репозитория [eNTUKhPIIR](#) Назаренко С. А. является автором 3 статей [9]

Его научные статьи часто цитируются на научно–образовательных сайтах, иноязычных разделах Интернет – энциклопедии Wikipedia. На Назаренко Сергея Александровича приходится большая часть научных статей кафедры «[Сопротивление материалов](#)» НТУ «ХПИ» и их цитирований за последние годы.

С. А. Назаренко окончил Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» с отличием в 1981 году. Во время учебы в аспирантуре был именованным стипендиатом. Кандидат технических наук. Диссертация «Разработка методов анализа чувствительности и оптимизации оболочечных элементов конструкций и лопаток турбомашин» (210 с.). Ученое звание старшего научного сотрудника по специальности 05.02.09 – «динамика и прочность машин» присвоено Национальным техническим университетом «Харьковский политехнический институт».

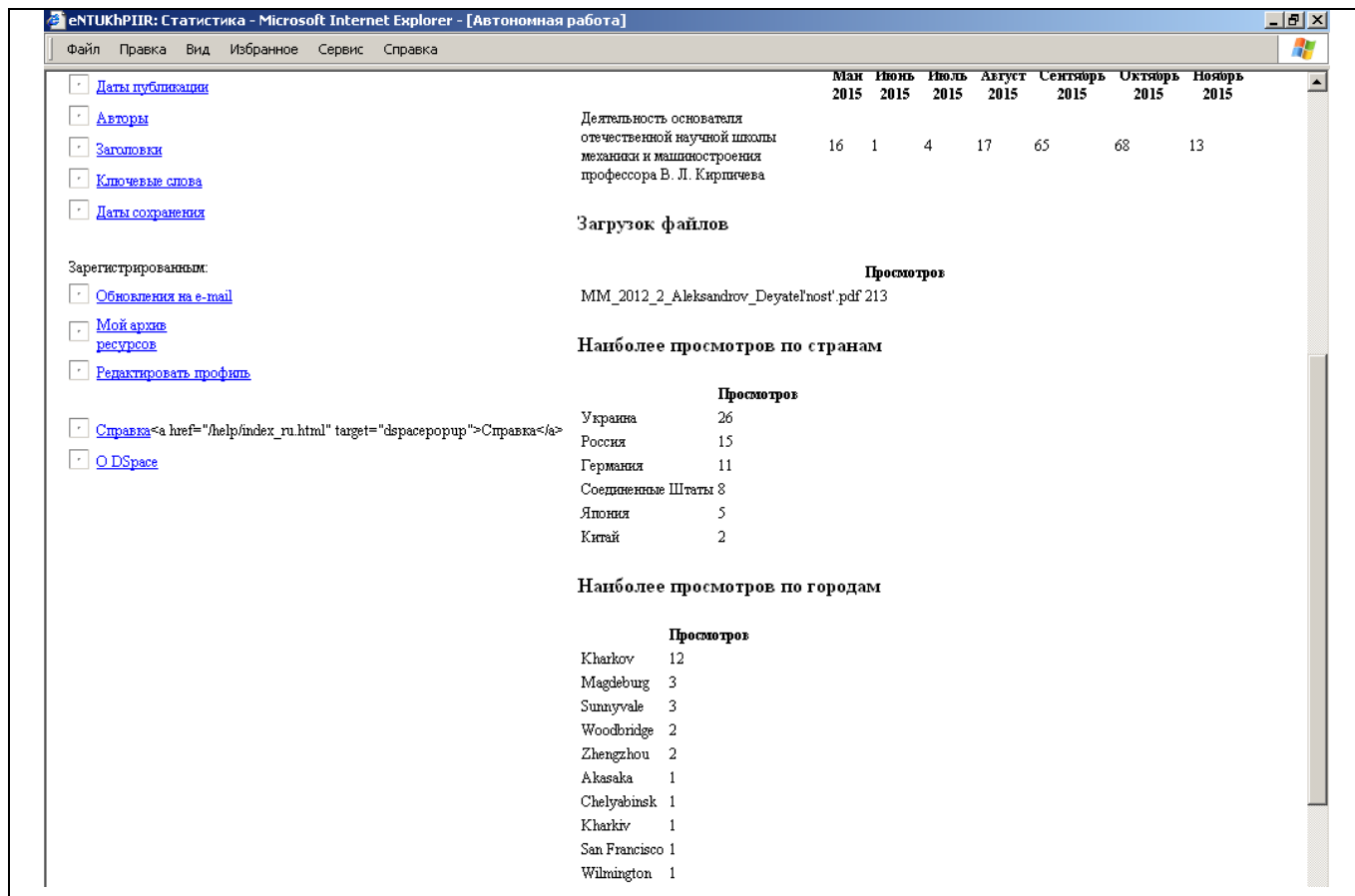


Рисунок 3 – Статистика просмотров и загрузок одной из статей С. А. Назаренко [2] по странам и городам за октябрь 2015 года (<http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/11044> (05.11.2015)).

Высококвалифицированный специалист С. А. Назаренко начал проводить исследования, основываясь на предшествующих работах научных школ своих руководителей: анализа сложных дискретных моделей механических систем – С. И. Богомолова (Заслуженный деятель науки и техники Украины (1985), Лауреат Государственных премий Украины в области науки и техники (1984, 1997) и оптимизации элементов конструкций – Э. А. Симсона (Заслуженный деятель науки и техники Украины (2010), Лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники (1997)).

На основе конечно-элементных моделей и теории анализа чувствительности конструкций Назаренко вначале решаются задачи оптимизации тонких и толстых пластин и оболочек, при этом в качестве критериев используются функционалы веса или его аналоги, прочности и жесткости, собственные частоты, критические параметры устойчивости [1, 6, 34].

Математический аппарат анализа чувствительности в то время начал применяться в США при проектировании некоторых модельных, а затем и аэрокосмических конструкций. Однако неразвитость теории и численных методов анализа чувствительности для реальных задач проектирования, отличающихся сложной пространственной геометрией и необходимостью использования

комплексных моделей функционирования конструкции, сдерживала создание и применение соответствующих программных средств.

На 1 этапе к основным новым теоретическим результатам Назаренко С. А. в области оптимизации механических систем, машин и конструкций можно отнести:

вывод условий оптимальности для задач оптимизации формы механических элементов на базе метода конечных элементов (КЭ), в т. ч. следующих подходов: смешанного и гибридного, основанного на двупольных вариационных формулировках (вариационного принципа Хелингера–Рейснера и его модификаций); «редуцированного» интегрирования и др.;

вывод соотношений анализа чувствительности с использованием изопараметрических и специализированных КЭ в двумерной, квазитрехмерной и трехмерной постановках.

Им были исследованы:

особенности анализа чувствительности и оптимизации резонансного состояния конструкции, колеблющейся в поле статических сил (комбинированное нагружение),

способы введения проектных переменных для библиотеки наиболее распространенных конечных элементов,

вопросы вывода соотношений анализа чувствительности и проблемы оптимизации конструкций, где варьируемыми параметрами являются геометрические параметры поперечных сечений конечных элементов и координаты узлов.

На основе проведенных теоретических исследований С. А. Назаренко разработаны оригинальные вычислительные методы оптимизации, которые были реализованы в составе программных комплексов проектирования, использующих различные библиотеки математических моделей, функциональные и технологические ограничения [1, 6, 30, 32, 34, 35].

Назаренко С. А. имеет весомые успехи в создании новой техники и внедрении наукоемких технологий в производство в качестве научного руководителя, ответственного исполнителя наиболее сложных и ответственных разделов многих госбюджетных и хоздоговорных работ, которые выполнялись в соответствии с координационным планом научно–исследовательских работ вузов СССР в области механики, республиканской комплексной целевой программой «Материалоемкость»; были составной частью государственных научно–технических программ ГКНТ СССР «Адиабатный двигатель», «Мотокерам», «Экологически чистый двигатель 2000 г.» и Государственного Комитета по науке и технологиям Украины: «Разработка высокоэффективных турбокомпрессоров и силовых турбин двигателей внутреннего сгорания для сельскохозяйственного и автомобильного машиностроения, повышение их топливной экономичности и экологической чистоты», «Интегрированные и компьютерные технологии проектирования», а также государственных программ «Украинский дизель» и «Украинский автомобиль» Министерства машиностроения и конверсии, программ научно–исследовательских работ Министерства здравоохранения и Министерства

образования и науки Украины и многих других.

К основным новым прикладным и практическим результатам Назаренко на 1 этапе можно отнести решение широкого круга задач оптимизации геометрической формы нагруженных пластин и оболочек произвольной конфигурации.

Созданная Назаренко С. А. система оптимального проектирования включала модель описания и синтеза пространственной геометрии лопаток, которая учитывала реальную технологию их изготовления; модели статического и вибрационного расчетов; а также процедуры анализа чувствительности прочностных и вибрационных характеристик к вариациям конструктивных параметров и функций, описывающих пространственную форму; методы оптимизации.

Конечно-элементная модель лопатки строилась на основе изопараметрических толстооболочечных КЭ [1, 6, 30, 32, 34]. Разработанные методики анализа чувствительности позволили решить целый ряд практических задач проектирования, доводки, технологической подготовки производства и контроля эффективной эксплуатации конструкций (рис. 4–8).



На базе метода конечных элементов и анализа чувствительности Назаренко было рассмотрено множество практических задач расчета и оптимального проектирования различных лопаточных машин [1, 6, 11, 20, 30, 32, 34, 35]. Только по заказам ОАО «Турбоатом» (г. Харьков) он был научным руководителем 5 хоздоговорных НИР (рис. 4). К сожалению, результаты этой колоссальной работы в большой степени остались только в научных отчетах и недоступны широкой научной общественности.

Значительное количество работ Назаренко С. А. (7 хоздоговорных НИР) в 1 период связано с исследованиями по расчету и оптимизации, которые имели большое значение при создании серийно производимых турбокомпрессоров нового поколения и силовых турбин дизельных двигателей для транспортного, сельскохозяйственного машиностроения, военно-промышленного комплекса – на ХКБД «Завод им. Малышева» (г. Харьков), ДЗТ и СКТБ по турбокомпрессоростроению, Инновационном центре «Эскорт» и других (рис. 4).

Турбонаддув служит наиболее простым и дешевым способом создания широкой гаммы двигателей на основе базовой модели, является наиболее эффективным способом повышения единичной мощности, улучшения топливной экономичности и экологических показателей ДВС [34].

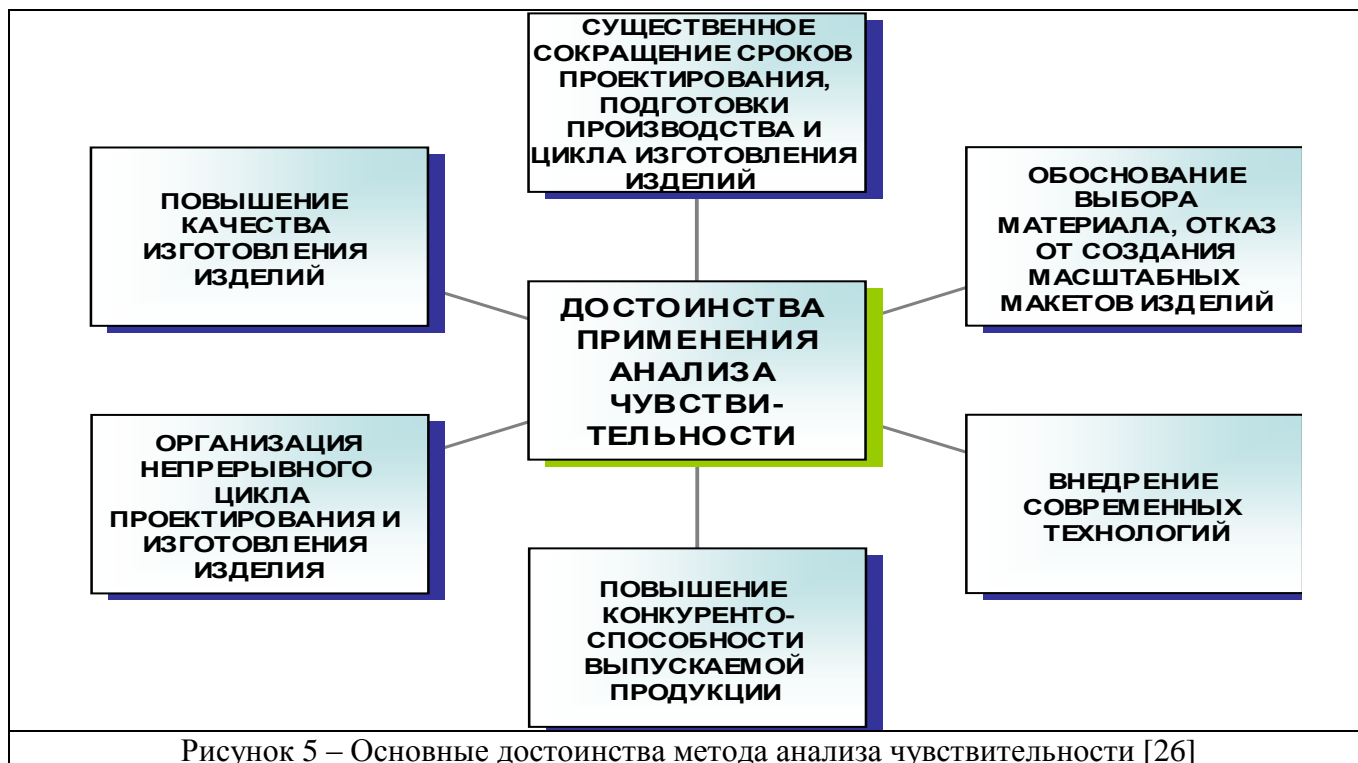
Разработки Назаренко С. А. (3 хоздоговорных НИР) использовались в оборонной промышленности, в частности при создании дизелей 5ТДФ, 6ТД1, 6ТД2 (Генеральный конструктор Украины по созданию двигателей для бронетехники, Генеральный конструктор казенного предприятия «Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению» – Лауреат Государственной премии Украины, Заслуженный деятель науки и техники Украины Рязанцев Н. К.). Танковые дизели ХКБД, в доводке которых принимали участие политехники, на международных выставках еще в 20 веке были признаны лучшими в мире и считаются двигателями 21 века. Двигатель 6ТД–2 развивает мощность 1200 л.с., модернизированный 5ТДФМ – 1000 л.с. Это стало возможным благодаря использованию мощной турбины в системе обеспечения воздухом.

Объем моторно-трансмиссионного отделения с двигателями 6ТД–1 и 6ТД–2 – наименьший среди всех танков подобного класса, выпускаемых в мире. На базе шестицилиндровых дизелей были созданы танки Т–80УД и Т–84, успешно конкурирующие на мировом рынке вооружений. Двигатели ХКБД увеличили мощность Т–64, сменили V-образные дизели в танках российского производства Т–72 и в самых многочисленных за всю историю мирового танкостроения Т–55. Модернизация проводится не только для Украинской, но и для иностранных армий, что обеспечивает ХЗТМ заказами, а значит и поступления в бюджет.

Назаренко С.А. был исполнителем 2 хоздоговорных НИР по заказу СМНПО им. Фрунзе (г. Сумы). Он разрабатывал расчетные модели бандажированных роторов жидкостнокольцевых машин для их оптимального компьютерного проектирования. Совершенствование конструкций шло по пути снижения металлоемкости, габаритов, повышению экономичности и долговечности, улучшению их эксплуатационных характеристик [34].

Под руководством Симсона Э. А. и Назаренко С. А. были разработаны методы использования анализа чувствительности при решении задач проектирования и технологической подготовки производства крупноразмерных компрессоров для газоперекачивающих агрегатов и газонефтехимических технологий (рис. 4, 5). Совместные исследования с Героем Украины, Героем Социалистического Труда, полным кавалером ордена «За заслуги», Лауреатом Государственных премий СССР и Украины в области науки и техники

Лукияненко В. М. привели к совершенствованию ряда современных турбокомпрессорных установок нефтегазохимической промышленности, подготовке ряда научных трудов [11, 34].



Назаренко С. А. проводились работы по улучшению акустических данных важных элементов подводных лодок [34]. Он был ответственным исполнителем хоздоговорных НИР по заказу ЦНИПИ «Тайфун» (г. Николаев) для судостроительной промышленности, в которой разработал математический аппарат расчета, анализа чувствительности и оптимизации виброакустических характеристик электроventильаторов для низкошумных подводных лодок. При этом на основе усовершенствованных конечно-элементных моделей электроventильаторов исследовался спектр собственных частот, оказывающихся в опасных зонах (рис. 4–6).

Назаренко С. А. был научным руководителем хоздоговорных НИР по заказу ОАО «Турбоатом» – «Исследование динамических характеристик колес тягодутьевой машины ДН 17 на основе усовершенствованной расчетной модели» и «Расчет вибрационных характеристик колес тягодутьевой машины ДН 21 на основе усовершенствованных конечно-элементных моделей», которые проводились по научно-технической программе Минмашпрома Украины (рис. 4). Полученные результаты использовались ОАО «Турбоатом» при проектировании новых центробежных дымососов, имеющих противоизносные лопатки для защиты от абразивного воздействия золы [34].

Назаренко С. А. был научным руководителем хоздоговорной НИР по заказу ОАО «Турбоатом» «Расчет и анализ чувствительности характеристик лопастей рабочих колес поворотнo-лопастных гидротурбин» (рис. 4). Разработанный им

математический аппарат использовался, как на этапе проектирования лопастей гидротурбин (например, ГЭС Варцихе, марка ПЛ 20 / 811–500), так и на этапе исследования причин эксплуатационных повреждений (например, ГЭС Виллой, марка ПЛ 70 / 3164–410; Миатлинская ГЭС, марка ПЛ 60/1075–В–600) [32, 34].

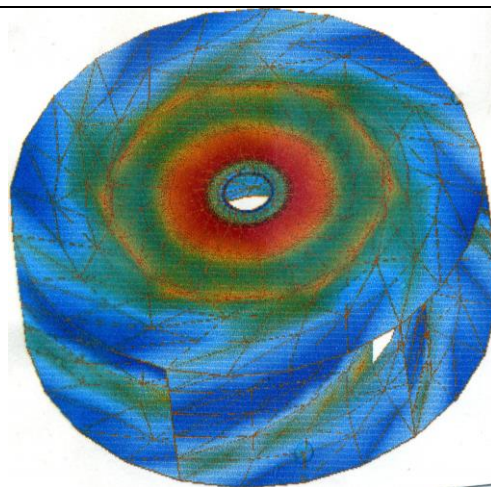


Рисунок 6– Анализ чувствительности характеристик колеса электровентилятора

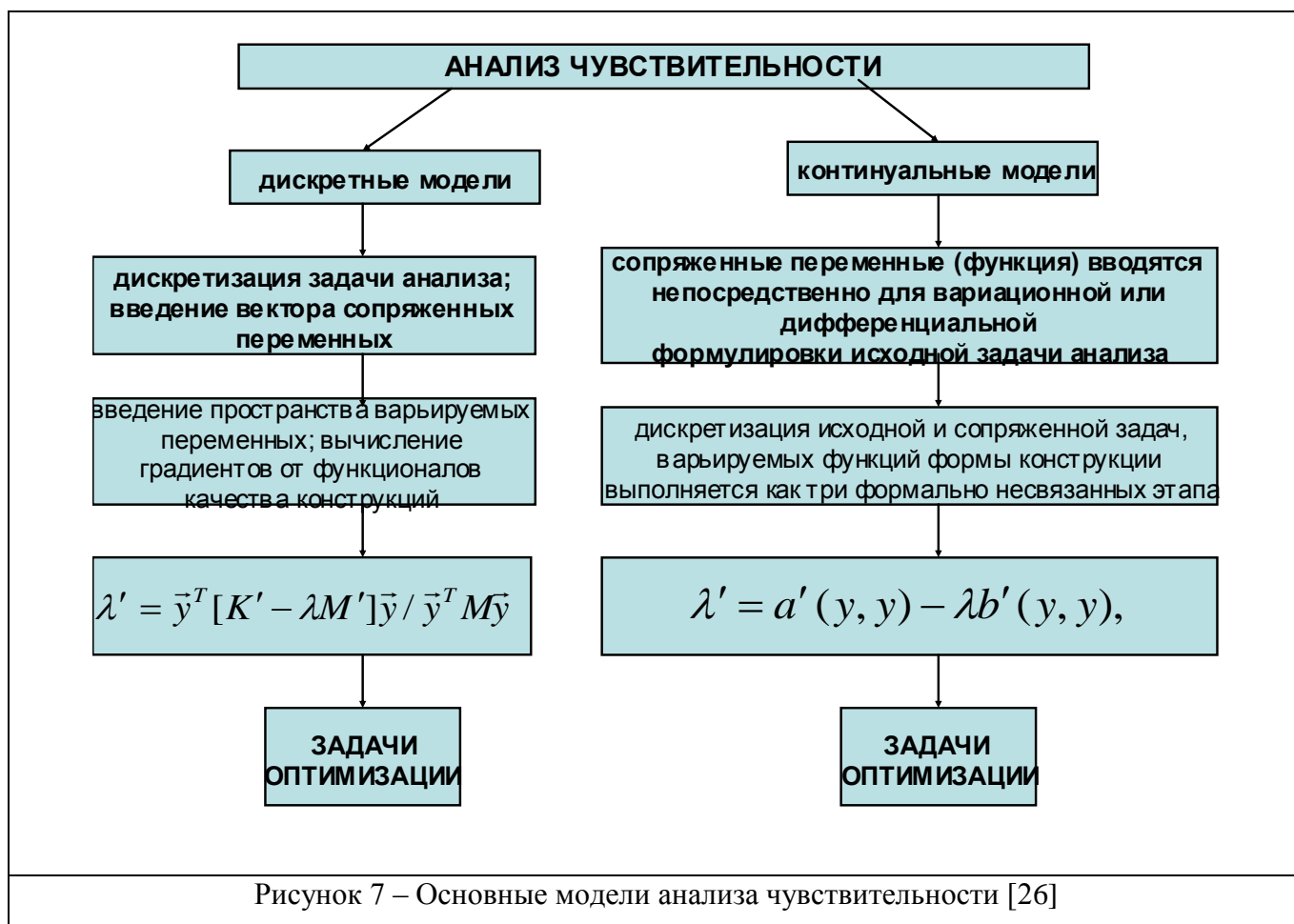
Назаренко С. А. был научным руководителем хоздоговорных НИР «Расчеты динамических характеристик рабочих лопаток последней ступени ЦНД ПГУ–175 с использованием конечноэлементной модели бандажной полки», «Расчет вибрационных характеристик и анализ чувствительности к модификации геометрических характеристик рабочих лопаток при отстройке от возбуждения соплового аппарата турбины ПТ–35–8 / 1.0, в которых были решены задачи оптимизации элементов паровых и газовых турбин для энергетического машиностроения по заказу ОАО «Турбоатом» (рис. 4, 8).[1, 34]

Разработки Назаренко С. А. позволили не только сократить сроки и повысить качество новых изделий, но и обеспечили возможность создания конструкций, имеющих принципиально новые качественные технико–экономические характеристики (рис. 4–8). Результаты научно–исследовательских работ и методические рекомендации внедрены во многих отраслях промышленности Украины со значительным технико–экономическим эффектом [1, 6, 11, 20, 30, 32, 34, 35].

Решая практические задачи проектирования конструкций, нельзя было оставаться в рамках механики деформируемого тела, поэтому в постановку задач начали вводить мультифизические модели и критерии качества рабочих и эксплуатационных характеристик.

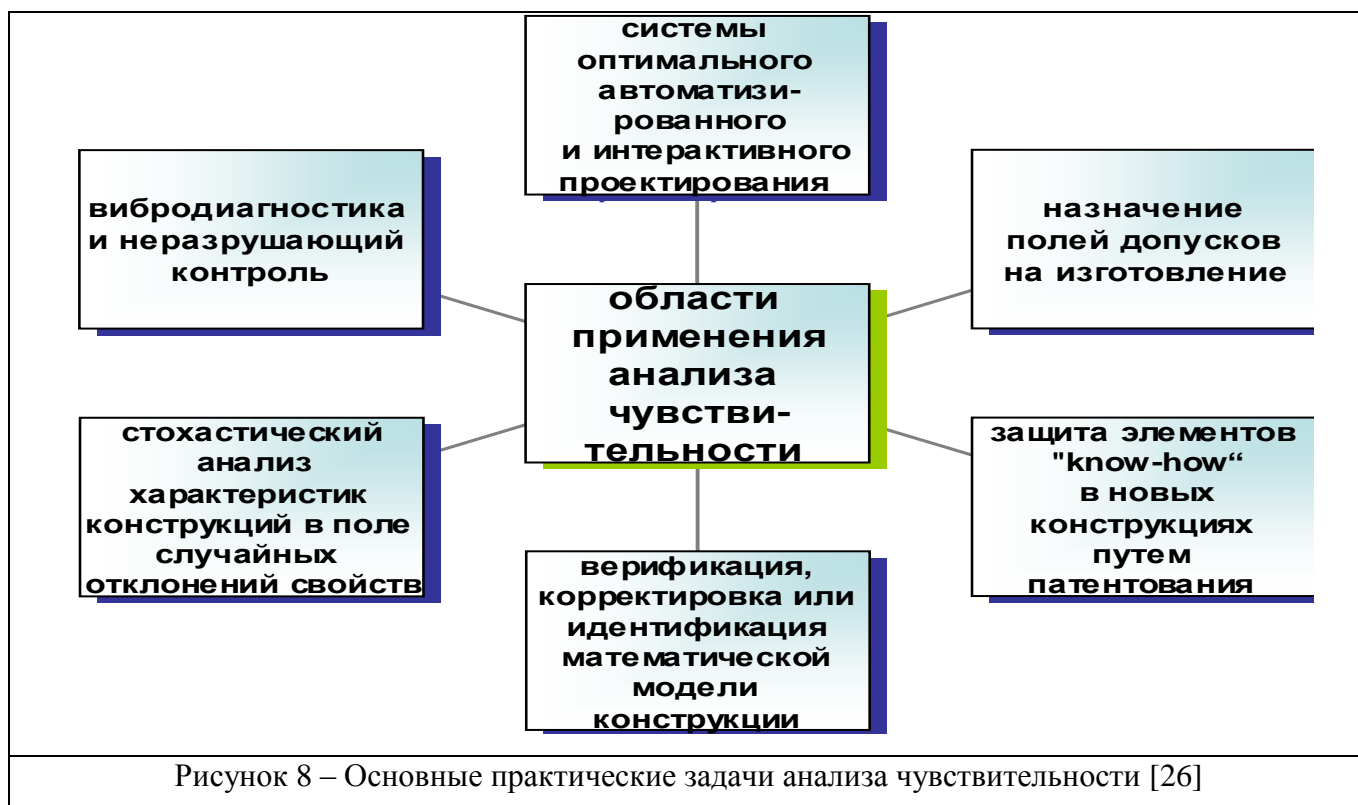
Созданная при деятельном участии Назаренко система оптимального проектирования «Turbo–VESTA» содержала: математические модели совместного рабочего процесса в турбине, компрессоре ТКР и цилиндрах ДВС; температурную и термоупругую модели колеса турбины; модели статического и вибрационного расчетов колес и лопаток турбины и компрессора; модели описания и синтеза пространственной геометрии лопаток, учитывающие реальную технологию их

изготовления; а также процедуры анализа чувствительности основных рабочих (газодинамических), прочностных и вибрационных характеристик к вариациям основных конструктивных параметров и функций, описывающих пространственную форму лопаток; методы оптимального проектирования (рис. 4, 8). В ее разработке принимали активное участие Симсон Э. А. (научный руководитель); Петросянц В. А., Солошенко В. А. (учёный секретарь программы ГНТП ГКНТ Украины 5.52.05 «Разработка высокоэффективных турбокомпрессоров и силовых турбин ДВС для транспортных и сельскохозяйственных машин»), Анацкий Ю. П., Медведев Д. В., Тарануха А. А., Кириллова Н. А. и др. [34].



Благодаря наличию всего комплекса термогазодинамических, прочностных, динамических, технологических моделей и соотношений оптимальности, реализованным в САОПР оптимального проектирования, разработчикам удалось спроектировать, разработать и утвердить техническую документацию, изготовить опытно–промышленную партию, пройти государственные сравнительные испытания и освоить серийный выпуск нового поколения турбокомпрессоров. Значительно были повышены характеристики надежности, исключены случаи разрушения рабочих колес турбин и компрессоров. У некоторых модификаций удалось снизить материалоемкость на 37% [34].

Назаренко был научным руководителем хоздоговорной работы «Разработка методов расчета геометрических, температурных, прочностных и динамических характеристик рабочих колес турбин и компрессоров» с инновационным центром «Эсорт», который был головной организацией–исполнителем Государственной научно–технической программы ГКНТ Украины 5.52.05 «Разработка высокоэффективных турбокомпрессоров и силовых турбин двигателей внутреннего сгорания для транспортных и сельскохозяйственных машин». Назаренко С. А. решил широкий круг задач расчета и проектирования турбокомпрессоров и силовых турбин двигателей внутреннего сгорания для транспортных и сельскохозяйственных машин [6, 20, 30, 32, 34, 35].



Назаренко С. А. принимал участие в выполнении международного проекта по программе УНТЦ (STCU) № 299 «Турбокомпрессорные системы. Повышение эффективности и экологической чистоты двигателей сельскохозяйственных и транспортных машин», в котором выполнял работы для решения задач оптимизации роторов турбокомпрессоров семейства ТКР–7; 5ТВ, предназначенных для 4–х цилиндровых рядных двигателей, устанавливаемых на тракторы ТБ–1М, ЛХТ–100, ДТ–75Н, Т–150, КА, ДТ–20Н и комбайны «Нива», СК–5М, «Сибиряк», СКД–6, РКМ–4/6, МПУ–15, «Дон–1200». Методы оптимизации и анализа чувствительности использовались на этапах комплексного расчета, проектирования и конструкторско–технологической подготовки производства [34].

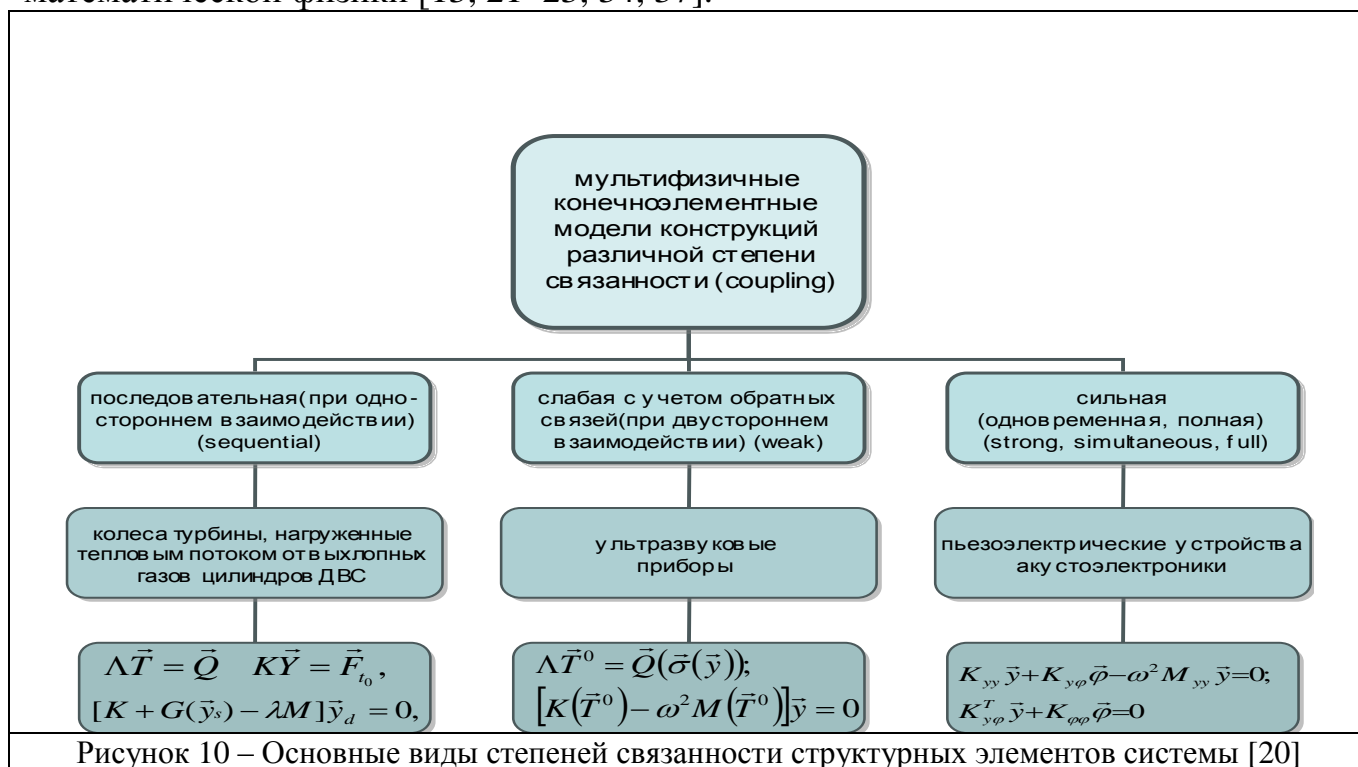
Интенсификация рабочих процессов в современных конструкциях, подвергающихся воздействию тепловых, гидроаэромеханических, электромагнитных и других полей, усовершенствование технологий изготовления, потребность в эксплуатации по состоянию обуславливают необходимость высокого уровня интеграции наукоемких технологий виртуального моделирования жизненного цикла инновационных изделий [21–23, 41].

Современный этап развития промышленности связан с CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support), PLM (Product Lifecycle Management), ИПИ (Информационная поддержка жизненного цикла изделий) – концепцией, объединяющей принципы и технологии поддержки жизненного цикла продукции на всех его стадиях, основанной на использовании постоянно развивающейся интегрированной информационной среды (единого информационного пространства (ЕИП)), обеспечивающей единообразные способы управления процессами и взаимодействия всех участников: заказчиков (включая государственные учреждения и ведомства), поставщиков (производителей), эксплуатационного и ремонтного персонала, реализованной в соответствии с требованиями системы международных, государственных и отраслевых стандартов, регламентирующих правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными [41].

Поэтому на следующем этапе исследований специалист высокой квалификации в области оптимизации конструкций Назаренко С. А. на базе метода конечных элементов разрабатывает методику моделирования сложных составных систем с учетом влияния связанных физических и механических полей (рис. 9).



На этом пути Назаренко С. А. получен ряд принципиально новых научных результатов, среди которых несомненный интерес представляет анализ особенностей отношений чувствительности при комбинированном нагружении систем (рис. 10). Широкий спектр фундаментальных и прикладных проблем, характерный для таких задач, способствовал теоретическим исследованиям, в которых анализ эффектов связанности выводился на уровень краевых задач математической физики [13, 21–23, 34, 37].



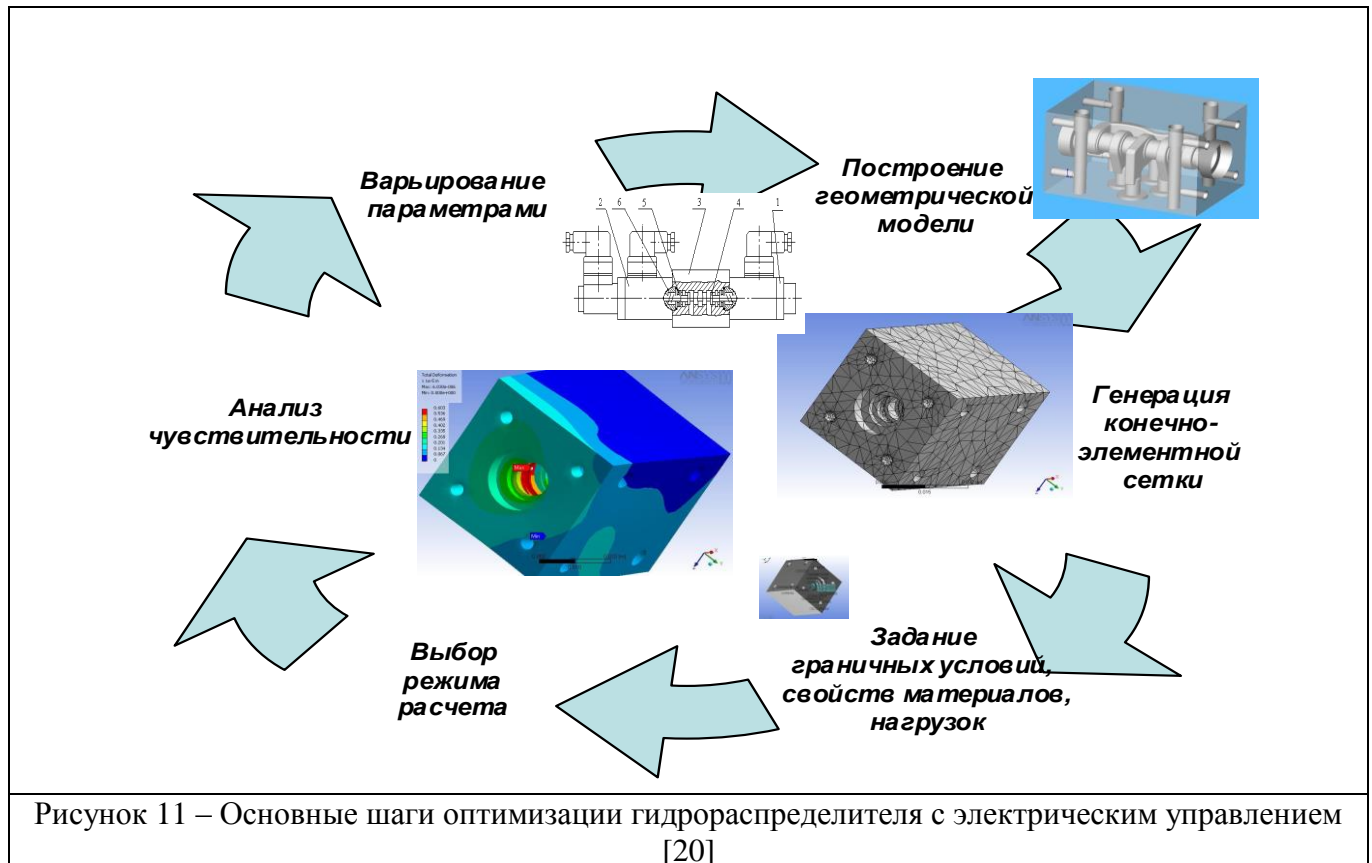
В рамках актуального и перспективного направления мультифизического анализа чувствительности и оптимизации Назаренко С. А. выполнял научные исследования, направленные на реализацию в комплексных методиках решения прикладных проблем создания образцов техники с наиболее совершенными конструктивными и эксплуатационными характеристиками (рис. 11–13).

Целью работ была формализация на основе единой комплексной научно-методологической концепции математических моделей конструкций, обладающих высоким уровнем адекватности реальным физико-механическим процессам различной природы, исследование вариантов совокупности и структуры специфических связей на основе прикладных задач.

Процесс декомпозиции физико-механической модели на компоненты является плохо формализуемым творческим процессом. На основе использования методов и принципов системного и объектно-ориентированного анализа можно осуществить декомпозицию абстрактной модели на составляющие и связи между ними [15, 21–23, 31].

Назаренко разработал теории и численные методы для задач анализа чувствительности и оптимизации конструктивных элементов сложных составных

систем [8, 10, 14, 15, 23, 31, 36, 40]. Он обосновал общие теоретические подходы, разработал адекватные математические модели структурно связанных механических и технологических систем в условиях действия физических полей различной природы.



Назаренко С. А. разработал методы анализа чувствительности последовательно связанных, сильно связанных, слабо связанных мультифизических пространственных конечно–элементных моделей элементов машин с высокой степенью геометрической и физической информативности, которые ориентированы на большие размерности векторов переменных состояния и проектирования [15, 21–23, 31]. На базе метода конечных элементов и алгоритмов анализа чувствительности он разработал методику оценки влияния погрешностей изготовления на прочностные и вибрационные характеристики при назначении обоснованных (оптимальных) допусков (рис. 8).

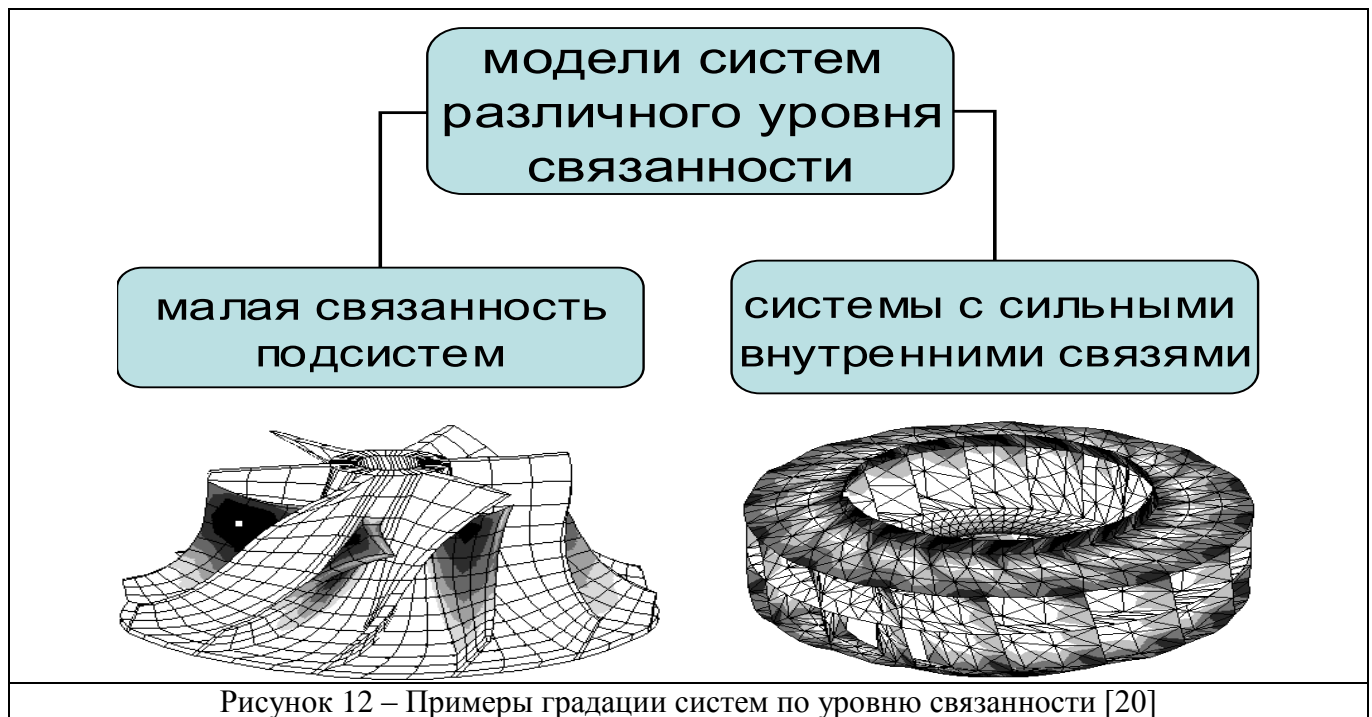
Назаренко С. А. разработал теоретические обобщения, опирающиеся на оригинальный унифицированный подход к классификации для задач анализа чувствительности и оптимизации. С использованием положений системного анализа им впервые был сформулирован универсальный методологический подход относительно исследований анализа чувствительности и оптимизации при воздействии электромагнитных, температурных и силовых полей.

Назаренко С. А. разработал адекватные математические модели сложных систем, методы многофункционального расчета и алгоритмов многокритериального оптимального проектирования сложных составных систем с

учетом влияния связанных физических и механических полей [7, 8, 10, 13–15, 20–23, 29, 31, 36, 37, 40].

На основе анализа структуры и типов связей были рассмотрены следующие категории задач многодисциплинарной оптимизации: последовательная (при независимом рассмотрении отдельных задач); полная (весь набор оптимальных параметров достигается за одну итерацию при увеличенных размерности и ширины ленты системы разрешающих уравнений); слабосвязанная (при этом выполняются итерации между различными этапами до тех пор, пока не будет достигнут желаемый уровень сходимости) [8, 40].

Назаренко С. А. имеет значительные достижения в фундаментальных и прикладных научных исследованиях, которые проводятся в новом перспективном направлении многодисциплинарного анализа чувствительности и оптимизации при исследовании жизненного цикла машин от проектирования до эксплуатации и утилизации (проблемы идентификации повреждений).



Многоплановые научные разработки включают разработку теории и методов оптимального проектирования конструкций на основании конечных элементов, оптимизации конструкций при статических и динамических нагрузках, теоретическое обобщение и развитие методов теории чувствительности и их вычислительной реализации в прикладных задачах исследования жизненного цикла машин [15, 17, 26].

Назаренко С. А. исследованы следующие виды степеней связанности структурных элементов системы (с позиции стационарного конечно–элементного расчёта): последовательная (при одностороннем действии); сильная (полная); слабая с учетом обратных связей (при двустороннем взаимодействии) [15].

Основным отличием моделей с последовательной (слабой) степенью связанности от сильной является отсутствие недиагональных блоков в глобальных матрицах.

Назаренко С. А. создал аналитически – численные методы для задач анализа чувствительности и оптимизации конструктивных элементов, соответствующих дискретным и континуальным расчетным схемам, и которые базируются на предложенных уравнениях состояния и конечно-элементном решении начально–краевых задач [17]. Он разработал математические модели идентификации дефектов машин на основе метода конечных элементов и анализа чувствительности.

Назаренко С. А. провел исследования на основе конечно – элементных моделей: вакуумной камеры [10], кварцевых резонаторов [31], пьезоэлектрических соноотродов для сварки [36], электрогидравлического преобразователя [20], бортовых плат ЭВМ [21], многослойных параболических отражателей спутниковых антенн [22], крупноразмерных турбокомпрессоров для газонефтехимического машиностроения [11] и многих других конструкций.

Назаренко С. А. работает над написанием монографии «Разработка научных основ междисциплинарного анализа чувствительности и оптимизации для исследования жизненного цикла конструкций». Под руководством Э. А. Симсона им изучаются задачи оптимального управления процессами в технологических системах высокоскоростной механообработки (рис. 13) [33, 38, 39].

Результаты научных разработок Назаренко С. А. докладывались на многих международных научных конференциях, семинарах и симпозиумах, связанных с расчетом и оптимизацией машин по динамическим и прочностным характеристикам. Он принимал активное участие в организации и проведении научно – технических конференций. Например, Назаренко много лет является членом оргкомитета ежегодных научно–технических конференций «Кирпичевские чтения» (2000–2016 годы).

Назаренко С. А. свои знания активно и плодотворно использует в научно–исследовательской работе студентов, результатами которой стали доклады на научных конференциях, курсовые и дипломные работы, статьи, опубликованные в ведущих (профессиональных) изданиях. Студенты, которые под его руководством участвовали в выполнении НИОКР, становились лауреатами конкурсов и получили международные премии.

Назаренко С. А. консультирует аспирантов по специальности 05.02.09 – динамика и прочность машин. Например, Зенкевич Ю. А., которую консультировал Сергей Александрович, стала первым в НТУ «ХПИ» студентом–лауреатом стипендиальной программы «Завтра.UA» – первой в Украине общенациональной программы поддержки талантливой молодежи (грант Попечительского совета фонда Пинчука), получила международную стипендию Леонарда Эйлера (Германия).

Назаренко С. А. несколько десятков лет избирается председателем профбюро инженерно–физического факультета и членом президиума профкома НТУ «ХПИ», председателем конференции трудового коллектива факультета и

делегатом конференции трудового коллектива НТУ «ХПИ». За это время на инженерно–физическом было создано 8 новых кафедр, которые стали базовыми для новых факультетов: компьютерных наук и программной инженерии, социально–гуманитарных технологий, экономического, бизнеса и финансов; экономической информатики и менеджмента. Лауреатами Государственных премий Украины стали 9 представителей факультета.

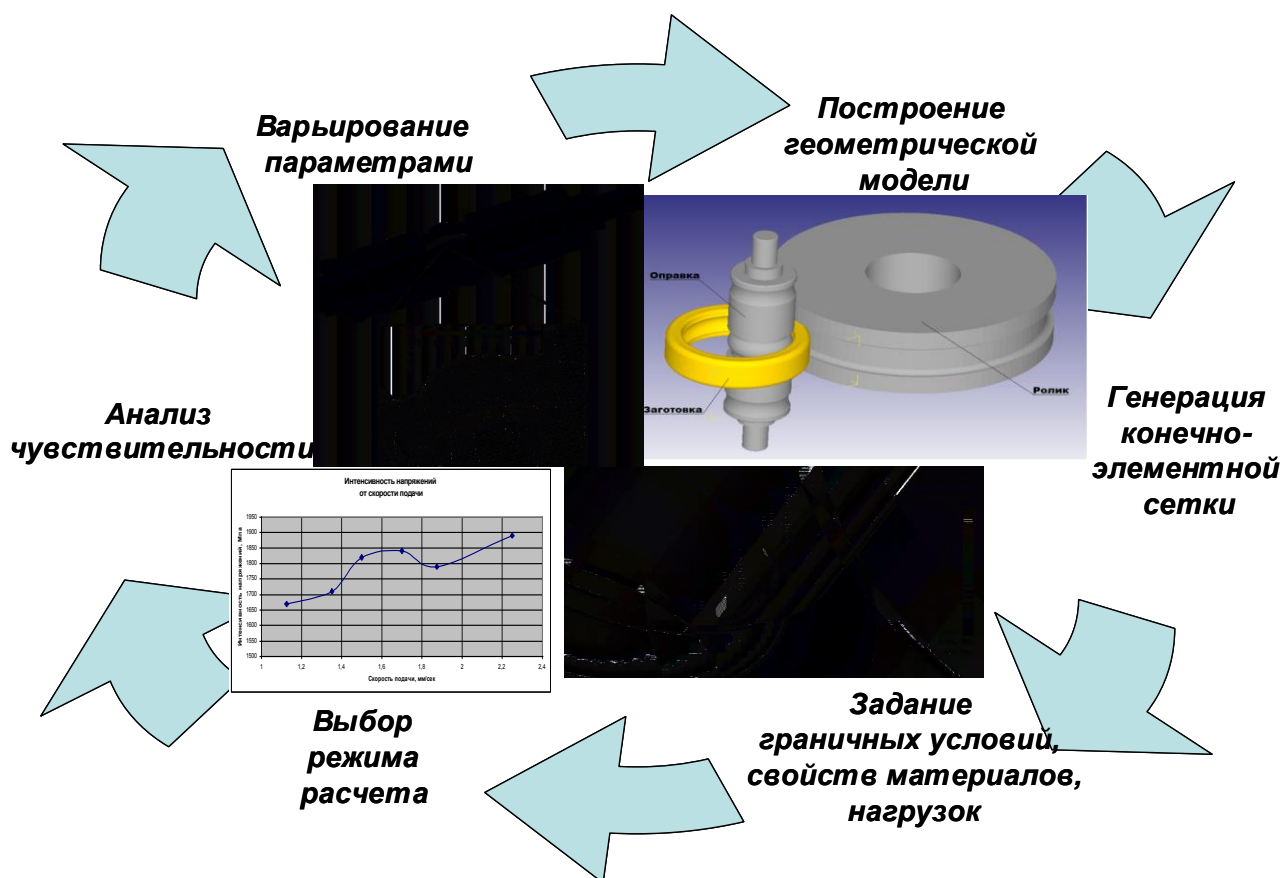


Рисунок 13 – Основные этапы оптимального интерактивного проектирования механико–технологических систем для процесса раскатки [26]

Назаренко С. А. многократно награждался за активную научную и организационную работу (например, грамотами обкома образования и науки за высокий профессионализм; ректора НТУ «ХПИ»).

Сергей Александрович широко известен своими работами и в области популяризации науки. Его перу принадлежат очерки, посвященные научному творчеству выдающихся ученых: первого директора НТУ «ХПИ», основателя отечественной научной школы механики и машиностроения, [профессора В. Л. Кирпичева](#) [2]; второго директора НТУ «ХПИ», [профессора Д. С. Зернова](#) [25]; первого заведующего кафедрой динамики и прочности машин, [члена–корреспондента Академии наук Украины В. М. Майзеля](#) [12]; первопроходца в области авиационной и ракетной техники [А. Я. Щербакова](#), ближайшего друга и

соратника С. П. Королева – основоположника космонавтики; профессоров Я. В. Столярова и В. В. Бортового; иных харьковских технологов и воспитанников Харьковского политехнического института [16, 18].

Назаренко С. А. разработаны обзоры основных научно – педагогических достижений ученых и выпускников НТУ «ХПИ» в областях математического моделирования [19]; механики [1], анализа конструкций [4]; управления системами [5]; оптимизации многокомпонентных структур [20]; жизненного цикла машиностроительного производства [40]; высокоскоростного нагружения конструкций [24], информационно коммуникационных технологий [27]; авиационной и космической науки и техники [16] и иных. Например, на официальном сайте Объединенного координационного комитета «Харьков ракетно–космический» khrk-rkk.nethouse.ua работа С. А. Назаренко [16] находится между книгой главного теоретика четырёх поколений систем управления ракетно–космической техники, генерального конструктора НПО «Хартрон» Я. Е. Айзенберга «Ракеты. Жизнь. Судьба» и энциклопедическим сборником о Харьковском высшем военном командно–инженерном училище ракетных войск имени Маршала Советского Союза Н. И. Крылова.

Назаренко С. А. найдены и подарены музеем и научной библиотеке НТУ «ХПИ» уникальные книги и материалы. Среди них редчайшие «Сообщения Харьковского математического общества» (ХМО), в которых содержится информация обо всех членах ХМО (заместитель председателя В. Л. Кирпичев) и их деятельности в 19 веке, некролог «одного из величайших математиков и механиков Европы» П. Л. Чебышева, написанный его учеником, выдающимся учёным А. М. Ляпуновым, и многие другие. Подарен был и первый перевод 1947 г. на русский язык мемуаров Пуанкаре по качественной теории дифференциальных уравнений из серии «Классики естествознания», осуществленный доктором физико–математических наук Е. А. Леонтович (внучкой В. Л. Кирпичева) под редакцией ее мужа, прославленного академика А. А. Андропова.

При подготовке статьи были использованы научные работы Назаренко, которых более 180. Для списка литературы среди его научных публикаций избраны только ключевые [1–8, 10–27, 29–41].

Список литературы:

1. Александров Е. Е. Деятельность основателя отечественной научной школы механики и машиностроения профессора В. Л. Кирпичева / Е. Е. Александров, С. А. Назаренко, В. Л. Хавин // Механіка та машинобудування. — 2012. — № 2. — С. 230–249. — * <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/11044>
2. Анализ чувствительности при комбинированном статико–динамическом нагружении конструкций / Э. А. Симсон, С. А. Назаренко, А. Ю. Зюзин, В. Б. Любецкая // Вестн. Нац. техн. ун–та «ХПИ» : сб. науч. тр. : темат. вып. / Нац.

- техн. ун-т «Харьк. политехн. ин-т». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2003. — № 12, т. 1 : Динамика и прочность машин. — С. 125–129.
3. Андреев А. Г. [Основные направления исследований ученых НТУ «ХПИ» в области механики](#) / А. Г. Андреев, С. А. Назаренко // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2015. — № 57 (1166) : Динаміка і міцність машин. — С. 3–7. — * <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/19837>
 4. Андреев А. Г. [Основные работы ученых ХПИ в области анализа термонапряженных конструкций](#) / А. Г. Андреев, С. А. Назаренко // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2013. — № 63 (1036) : Динаміка і міцність машин. — С. 3–11. — * <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/8663>
 5. Андреев А. Г. [Основные работы ученых ХПИ в области управления механическими системами](#) / А. Г. Андреев, С. А. Назаренко // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2014. — № 57 (1099) : Динаміка і міцність машин. — С. 3–14. — * <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/14078>
 6. Богомолов С. И. Расчет и оптимизация оболочек общей формы на базе смешанного подхода МКЭ / С. И. Богомолов, Э. А. Симсон, С. А. Назаренко // Динамика и прочность машин : респ. междувед. науч.-техн. сб. / Харьков. политехн. ин-т ; отв. ред. С. И. Богомолов. — Харьков : Вища шк., 1986. — Вып. 44. — С. 91–97.
 7. Болюх В. Ф. [Мультиполевая модель импульсного электромеханического преобразователя](#) / В. Ф. Болюх, С. А. Назаренко, М. А. Рассоха / Інтегровані технології та енергозбереження. — 2009. — № 3. — С. 34–40. — * <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/1919>
 8. Болюх В. Ф. [Системный подход к мультидисциплинарной оптимизации электромеханических преобразователей ударного действия](#) / В. Ф. Болюх, С. А. Назаренко / Інтегровані технології та енергозбереження. — 2010. — № 2. — С. 36–43. — * <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/1956>
 9. Главчева Ю. Н. Репозитории в системе мирового движения «Открытого доступа» [Электронный ресурс] / Главчева Ю. Н. // Електрон. репозитарій Нац. техн. ун-та «Харьк. политехн. ин-т». — Режим доступа: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/4139>
 10. Лавинский В. И. [Анализ чувствительности характеристик прочности и жесткости структурно связанных систем](#) / В. И. Лавинский, С. А. Назаренко, Ю. П. Анацкий // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПІ» : сб. науч. тр. : темат. вып. / Нац. техн. ун-т «Харьк. политехн. ин-т». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2007. — №

- 38 : Динамика и прочность машин. — С. 77–82. — *
<http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/3367>
11. Львов Г. И. [Основные работы члена-корреспондента Академии наук Украины В. М. Майзеля](#) / Г. И. Львов, С. А. Назаренко, В. Л. Хавин // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2013. — № 58 : Динаміка і міцність машин. — С. 8–15. — *
<http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/8629>
12. Марусенко С. І. [Аналіз статико-динамічних нелінійних процесів у елементах структурно зв'язаних систем](#) / С. І. Марусенко, С. О. Назаренко, Е. А. Сімсон // Зб. наук. пр. Академії внутрішніх військ МВС України. — 2010. — № 1(15). — С. 65–75. — * <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/14932>
13. Математические модели анализа рабочих колес турбокомпрессорных агрегатов / В. М. Лукьяненко, Э. А. Симсон, С. А. Назаренко, В. А. Солошенко / Вестн. Харьков. гос. политехн. ун-та. — Харьков : ХГПУ, 2000. — Вып. 82. — С. 54–57.
14. Назаренко С. А. Анализ чувствительности конечномерных и континуальных моделей структурно связанных систем / С. А. Назаренко // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. / Нац. техн. ун-т «Харьк. политехн. ин-т». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2007. — № 22. — С. 127–131.
15. Назаренко С. А. Анализ чувствительности конструкций при воздействии физических полей различной природы / С. А. Назаренко // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. / Нац. техн. ун-т «Харьк. политехн. ин-т». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2006. — № 32. — С. 119–122.
16. Назаренко С. А. [Деятельность воспитанников Харьковского политехнического института в области освоения космического пространства](#) / С. А. Назаренко // Universitates = Университеты. Наука и просвещение. — 2013. — № 2. — С. 64–74. — * <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/11039>
17. Назаренко С. А. [Задачи оптимизации многокомпонентных тел неоднородной структуры](#) / С. А. Назаренко // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2015. — № 57 (1166) : Динаміка і міцність машин. — С. 87–90. — *
<http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/19841>
18. Назаренко С. А. Ключевые направления исследований харьковчан в области информационных технологий / С. А. Назаренко // Universitates = Университеты. Наука и просвещение. — 2016. — № 2. — С. 12–24.
19. Назаренко С. А. [Ключевые работы ученых НТУ «ХПИ» в области математического моделирования в технике](#) / С. А. Назаренко, С. И. Марусенко // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. : темат. вып. / Нац. техн. ун-т

- «Харьк. политехн. ин-т». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2015. — № 18 (1127) : Математическое моделирование в технике и технологиях. — С. 14–19. — * <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/16502>
20. Назаренко С. А. Компьютерное моделирование мультифизических процессов в нагруженных конструкциях и технологических системах [Электронный ресурс] / С. А. Назаренко // Электрон. репозиторий Нац. техн. ун-та «Харьк. политехн. ин-т». — Электрон. текстовые данные. — Харьков, 2016. — 30 с.
21. Назаренко С. А. [Математические модели мультифизического анализа конструкций для CALS технологий](#) / С. А. Назаренко // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. : темат. вып. / Нац. техн. ун-т «Харьк. политехн. ин-т». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2008. — № 36 : Динамика и прочность машин. — С. 125–132. — * <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/14946>
22. Назаренко С. А. [Математические модели элементов машин при воздействии физических полей и внешней среды](#) / С. А. Назаренко, Э. А. Симсон // Механіка та машинобудування. — 2009. — № 1. — С. 69–77. — * <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/14943>
23. Назаренко С. А. Многодисциплинарный анализ чувствительности для исследования жизненного цикла изделия / С. А. Назаренко // Физические и компьютерные технологии : тр. 11-й Междунар. научно-техн. конф. — Харьков, 2005. — С. 29–34.
24. Назаренко С. А. [Некоторые задачи высокоскоростного нагружения элементов конструкций](#) / С. А. Назаренко // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2013. — № 63(1036) : Динаміка і міцність машин. — С. 102–107. — * <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/8688>
25. [Основные работы профессора Д. С. Зернова](#) / С. А. Назаренко, В. Л. Хавин, Н. В. Непран, Л. П. Семененко // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. : темат. вып. / Нац. техн. ун-т «Харьк. политехн. ин-т». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2011. — № 51 : Машиноведение и САПР. — С. 16–23. — * <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/3404>
26. Назаренко С. А. Разработка технологии оптимизации нагруженных многокомпонентных конструкций и технологических систем [Электронный ресурс] / С. А. Назаренко // Электрон. репозиторий Нац. техн. ун-та «Харьк. политехн. ин-т». — Электрон. текстовые данные. — Харьков, 2016. — 36 с. — Режим доступа: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/22751>.
27. Назаренко С. А. Узловые разработки ученых и выпускников НТУ «ХПИ» в области информационно коммуникационных технологий [Электронный ресурс] / С. А. Назаренко // Электрон. репозиторий Нац. техн. ун-та «Харьк. политехн. ин-

- т». — Электрон. текстовые данные. — Харьков, 2016. — 23 с. — Режим доступа: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/22752>.
28. Побережна О. О. Інституційний репозитарій НТУ «ХПІ» у світовій системі наукових комунікацій [Електронний ресурс] / Побережна О. О. // Електрон. репозитарій Нац. техн. ун-ту «Харк. політехн. ін-т». — Режим доступу: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/17704>.
29. Проблемы мультидисциплинарной оптимизации элементов конструкций. CFD-анализ / Э. А. Симсон [и др.] // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. : темат. вып. / Нац. техн. ун-т «Харьк. политехн. ин-т». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2004. — № 47 : Динамика и прочность машин. — С. 19–22.
30. Симсон Э. А. Анализ прочности и динамики поворотно-симметричных многокомпонентных конструкций (подшипниковых узлов качения) / Э. А. Симсон; С. А. Назаренко // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2016. — № () : Динаміка і міцність машин. — С. — .
31. Симсон Э. А. [Анализ чувствительности для конечно-элементных моделей конструкций](#) / Э. А. Симсон, С. А. Назаренко // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. : темат. вып. / Нац. техн. ун-т «Харьк. политехн. ин-т». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2003. — № 8, т. 3: Динамика и прочность машин. — С. 77–82. — * <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/14969>
32. Симсон Э. А. Анализ чувствительности и оптимизация кварцевых резонаторов / Э. А. Симсон, С. А. Назаренко, А. Ю. Зюзин // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. : темат. вып. / Нац. техн. ун-т «Харьк. политехн. ин-т». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2005. — № 47 : Динамика и прочность машин. — С. 158–161.
33. Симсон Э. А. [Методика анализа чувствительности вибрационных параметров механических систем](#) / Э. А. Симсон, С. А. Назаренко, М. В. Трохман // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2008. — № 2/4. — С. 44–47. — * <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/14912>
34. Симсон Э. А. [Методы анализа и оптимизации нагруженных элементов технологических систем](#) / Э. А. Симсон, С. А. Назаренко, И. Д. Прево // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. : темат. вып. / Нац. техн. ун-т «Харьк. политехн. ин-т». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2014. — № 42 (1085) : Технологии в машиностроении. — С. 187–192. — *
- <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/11011>
35. Симсон Э. А. Оптимизация в проектировании: теории и приложения / Э. А. Симсон, С. А. Назаренко // Инфиз: очерки истории творчества. — Харьков : ЭнергоКлуб Украины, 2005. — С. 329–345.

- 36.Симсон Э. А. Оптимизация элементов конструкций по прочностным и динамическим характеристикам / Э. А. Симсон, С. А. Назаренко, Ю. П. Анацкий // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. : темат. вып. / Нац. техн. ун-т «Харьк. политехн. ин-т». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2004. — № 31 : Динамика и прочность машин. — С. 137–140.
- 37.Степанов М. С. Разработка метода многодисциплинарной оптимизации механико–технологических систем / М. С. Степанов, С. А. Назаренко, Н. С. Скворцов // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. / Нац. техн. ун-т «Харьк. политехн. ин-т». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2010. — № 24 : Технологии в машиностроении. — С. 32–40.
- 38.[Обобщенная структура жизненного цикла машиностроительного производства и его изделий](#) / Ю. В. Тимофеев, В. А. Фадеев, М. С. Степанов, С. А. Назаренко // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. : темат. вып. / Нац. техн. ун-т «Харьк. политехн. ин-т». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2009. — № 1 : Технологии в машиностроении. — С. 86–95. — *
<http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/14953>
- 39.Холодная раскатка заготовок подшипниковых колец / Э. А. Симсон [и др.] // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2011. — № 52 : Динаміка і міцність машин. — С. 156–160.
- 40.[Численное моделирование технологического процесса изготовления корпуса поглощающего аппарата](#) / Э. А. Симсон [и др.] // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. : темат. вып. / Нац. техн. ун-т «Харьк. политехн. ин-т». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2012. — № 27 : Математическое моделирование в технике и технологиях. — С. 214–221. — *
<http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/10024>
41. Bogomolov S. I. [Application of a superparametric finite shell element to the calculation of turbine blade vibrations](#) / S. I. Bogomolov, S. S. Lutsenko, S. A. Nazarenko // Strength of Materials. — 1982. — Vol. 14, № 6. — P. 796–799.
<http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/16039>